



発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2020年版） JSME S NC1-2020

設計・建設、材料及び溶接に係る日本機械学会の
規格の技術評価に関する第4回検討チーム会合に
おける日本機械学会への説明依頼事項への回答

2023年10月2日

(一社)日本機械学会 発電用設備規格委員会
原子力専門委員会 設計・建設分科会

目次

1. 設計・建設規格

(1) 他規格等の要求事項を取り込む際の考え方→なし

(2) クラス1支持構造物の極限解析による評価

(a) 極限解析が、運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲに適用できる技術的根拠を示して下さい。

(3) クラス1支持構造物に対する曲げ座屈評価式の見直し→なし

(4) クラス2, 3容器の上位クラス規定の適用→なし

(2) クラス1支持構造物の極限解析による評価

(a) 極限解析が、運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲに適用できる技術的根拠を示して下さい。

<質問の背景>

- 技術基準規則では、運転状態Ⅰ、Ⅱに対して、全体的な変形を弾性域に抑えることという要求がある。作用荷重が降伏点をF値として算出した崩壊荷重の3分の2以下としているが、必ずしも全体的な変形を弾性に抑えるという要求を満たしているかは自明ではない。極限解析における崩壊荷重は、2倍勾配法で求めており、弾性域を超えたところで設定されている。この3分の2が弾性域といえるかは、個別に確認しないと分からないのではないか。
- 技術基準規則では、運転状態Ⅲに対して、全体的な塑性変形が生じないこと、ただし、構造上の不連続部における局所的な塑性変形はこの限りではない、という要求がある。極限解析は、降伏点F値として算出するので崩壊荷重以下になるとのことだが、技術基準規則では、構造上の不連続部における局所的な塑性変形のみを許容している。極限解析で算出した場合、どこで降伏するかは分からないので、構造上の不連続部で塑性変形が起きるとは限らないのではないか。

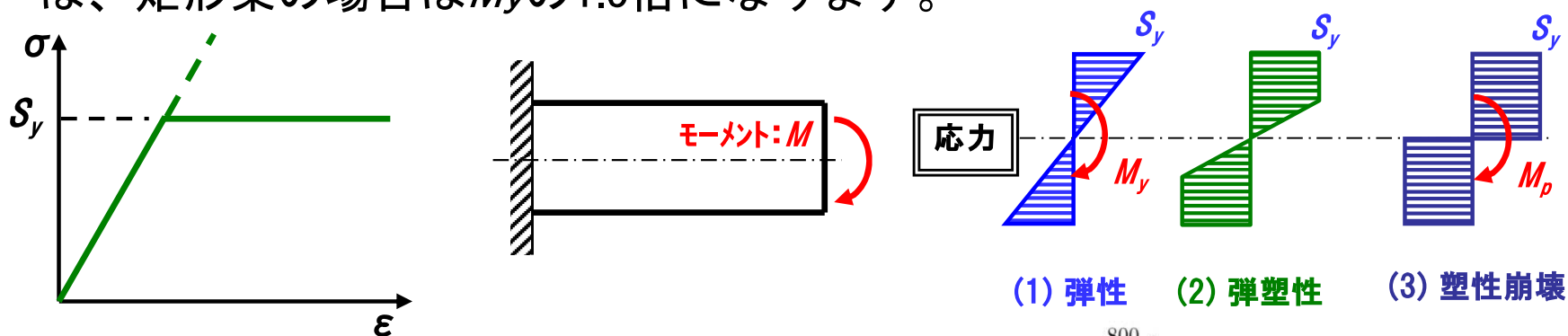
(2) クラス1支持構造物の極限解析による評価

[回答]

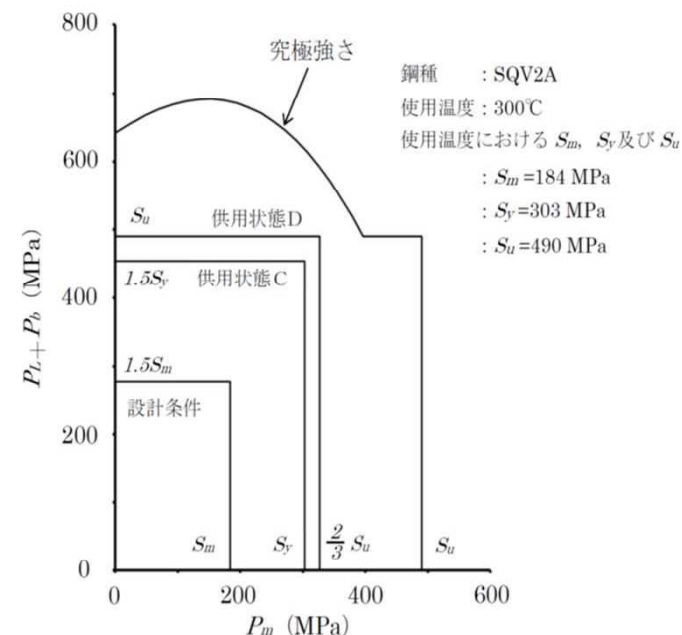
- 技術基準規則において、「クラス1機器にあつては、最高使用圧力、最高使用温度及び機械的荷重が負荷されている状態（以下「設計上定める条件」という。）において、**全体的な変形を弾性域に抑えること。**」とされています。これは、例えば容器（穴の周辺部、ボルト等、オメガシール及びキャノピーシールを除く）に対しては告示第501号の第13条第1項に基づくものと理解しており、技術基準規則解釈において当該部は設計・建設規格のPVB-3110に対応するとしています（容器の場合はPVB-3111(1) [設計条件]）。
- また、技術基準規則の「クラス1容器・・・及びクラス1支持構造物にあつては、運転状態Ⅲにおいて、**全体的な塑性変形が生じないこと。**ただし、構造上の不連続部における局所的な塑性変形はこの限りでない。」も同様であり、技術基準規則解釈において当該部は設計・建設規格のPVB-3110に対応するとしています（容器の場合はPVB-3111(2) [供用状態C]）。

(2) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

- この許容値体系は、極限解析に基づいています。簡単な梁を例にとると、 S_y を降伏点とする弾完全塑性を考えた場合、表面が降伏点に達するときのモーメント(M_y)に対して、全断面が降伏し、塑性崩壊するときのモーメント(M_p)は、矩形梁の場合は M_y の1.5倍になります。

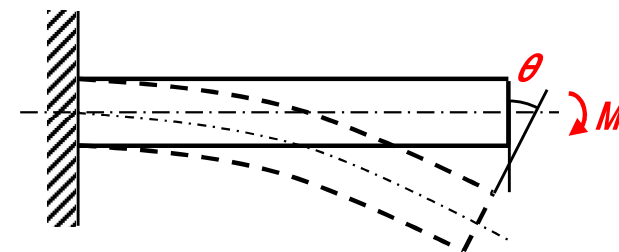
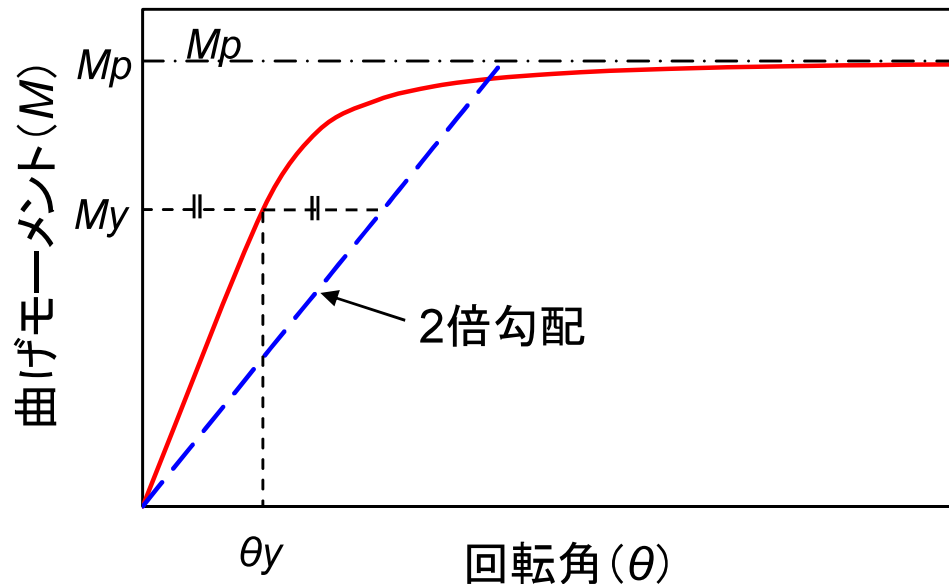


- 矩形梁を対象に許容値体系を図示したものが、例えば設計・建設規格の解説図PVB-3111-5です。
- 供用状態Cでは、 S_y を降伏点とする弾完全塑性体を想定した上で、右上の(3)の状態に至る前の(2)の状態を許容しており、これが「**全体的な塑性変形が生じないこと**。ただし、構造上の不連続部における局所的な塑性変形はこの限りでない。」に対応していると考えられます。



(2) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

- 矩形梁の曲げに対して、2倍勾配法も合わせて示したものが下図になります。
- 技術基準規則の「全体的な塑性変形が生じないこと。ただし、構造上の不連続部における局所的な塑性変形はこの限りでない。」が $M_p = 1.5M_y$ の状態になります。
- 「全体的な塑性変形が生じない」は、一次応力に対して極限解析を前提に下図の状態を認めており、**板厚内に弾性域が残る(表面の塑性は許容)**ことに対応しています。
- 一次応力に対して構造上の不連続部があれば、そこに応力集中が生じるので、降伏は、一般部より構造不連続部が先に生じることになります。



(2) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

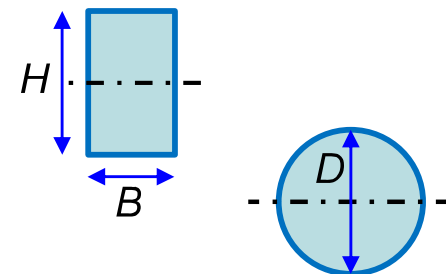
- M_p と M_y の比は部材の断面形状によって変わりますが(注)、矩形断面が1.5であり、設計・建設規格でもPVB-3111 (1) c. で最大1.5としており、 M_p を1.5で除したもので制限しておけば、**板厚内の弾性域は残る**ことになり、これが「全体的な変形を弾性限に抑える」ことに対応します。
- 実材料では塑性ひずみとともに応力が増加する加工硬化を示すので、弾完全塑性体に比較してさらに大きな応力まで許容でき、また同じ荷重であれば板厚内の**弾性域がより広くなります**。
- 一次応力に対して構造上の不連続部があれば、そこに応力集中が生じるので、降伏は、一般部より構造不連続部が先に生じることになりますが、これは局部的で他の部分からの拘束でひずみの集中も限定され、部材全体の挙動には影響を及ぼさないと考えられます。このような特性を踏まえて、応力ベース評価でも「局部膜応力」として、より高い応力まで許容されていますが、極限解析では自動的にこのような現象を考慮することができます。

(注) [矩形断面] $M_p/M_y = Z_p/Z = (BH^2/4)/(BH^2/6) = 1.5$

[中実円形断面] $M_p/M_y = Z_p/Z = (D^3/6)/(\pi D^3/32) = 1.70$

[管状断面] $M_p/M_y = Z_p/Z = [32(1-Y^3)]/[6\pi(1-Y^4)]$

$Y = d_i$ (管の内径) / d_o (管の外径) $\Rightarrow Y = 0.65$ で $M_p/M_y = 1.5$



(2) クラス 1 支持構造物の極限解析による評価

- 運転状態I、II(設計条件)に対しては、クラス1機器では許容値として S_m を用います。 S_m は基本的に $(1/3)S_u$ と $(2/3)S_y$ のいずれか小さい方になります。
- 設計上定める条件(設計条件)において全体的な変形を弾性域に抑えるという技術基準規則の要求に対して、 S_m を許容値にすることが認められています。
- 極限解析に対して、比例負荷の場合、 S_y を降伏点として極限解析により得られた荷重を $(2/3)$ として求めた許容荷重は、 $(2/3)S_y$ を降伏点として極限解析で得られた荷重を許容荷重とすることと等価であり、規格としては許容応力を降伏点とした極限解析とする方がわかりやすくなります。今後、設計条件に対してはクラス1容器に対しては S_m 、クラス1支持構造物に対しては $(2/3)F$ を降伏点とした極限解析にすることで、規格の改定を検討します。